

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-172741  
(43)Date of publication of application : 23.06.2000

|                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| (51)Int Cl.                        | 606F 17/50<br>606T 17/00         |
| (21)Application number : 10-352352 | (71)Applicant : MEIDENSHA CORP   |
| (22)Date of filing : 11.12.1998    | (72)Inventor : MIYAZAWA HIDETAKA |

(54) METHOD FOR CALIBRATING DRAWING IMAGE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a calibration method which unnecessary working in which three-dimensional coordinates values for all of correspondence points are found from a drawing and also enables calibration even to drawing where dimension is written.  
SOLUTION: A projected point where a point in the three-dimensional space of a device is projected onto the trihedral drawing of the device is defined as a mutual correspondence point, and a point on an image is associated with the coordinates of the point in the three-dimensional space based on distance information between the correspondence point and a correspondence point. An evaluation function in which the equivalence of coordinates values in the three-dimensional space calculated from the correspondence point and the distance between the correspondence points are defined as constraint conditions is defined, and a conversion coefficient which satisfies the constraint conditions to the evaluation function and also minimizes function value, i.e., the conversion coefficient of each drawing image is calculated by a second order differential value gradient method.

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-172741  
(P2000-172741A)  
(43)公開日 平成12年6月23日(2000. 6. 23)

|                           |      |            |                   |
|---------------------------|------|------------|-------------------|
| (51)Int. Cl. <sup>7</sup> | 識別記号 | FI         | ターボット(参考)         |
| G06F 17/50                |      | G06F 15/60 | 624 B 5B046       |
| G06T 17/00                |      |            | 15/62 350 A 5B050 |

審査請求 未請求 請求項の数 5 OL (全10頁)

|          |                           |         |   |
|----------|---------------------------|---------|---|
| (21)出願番号 | 特願平10-352352              | (71)出願人 | 000006105<br>株式会社明電舎  |
| (22)出願日  | 平成10年12月11日(1998. 12. 11) | (72)発明者 | 宮澤 秀敏<br>東京都品川区大崎2丁目1番17号 株式会社明電舎内  |
|          |                           | (74)代理人 | 100062199<br>井理士 范賀 富士弥 (外1名)<br>Fターム(参考) 5B046 DA09 FA11<br>5B050 BA09 BA17 EA07 |

(54)【発明の名称】図面画像のキャリブレーション方法

(57)【要約】

【課題】 図面上の点を3次元空間中の点の座標に対応付けるキャリブレーションは、図面寸法を手作業で求めなければならないし、寸法が部分的にしか記入されていないために3次元座標値を求められない場合がある。

【解決手段】 機器の3次元空間中の点が機器の三面図上に投影された投影点を互いの対応点とし、この対応点と対応点間の距離情報を基に、画像上の点を3次元空間中の点の座標に対応付ける。対応点から求めた3次元空間中の座標値の同値性、及び対応点間の距離を拘束条件にした評価関数を定義し、この評価関数に対して拘束条件を満たしかつ関数値を最小化する変換係数を2階微分値勾配法により各図面画像の描記変換係数を求める。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 機器の図面画像上の点を3次元空間中の点の座標に対応付ける変換関数の変換係数を求めるキャリブレーションを行い、図面画像から変換関数を使って機器の3次元モデルを作成するにおいて、前記キャリブレーションは、機器の3次元空間中の点が機器の三面図上に投影された投影点を互いの対応点とし、この対応点と対応点間の距離情報に基づき、画像上の点を3次元空間中の点の座標に対応付けることを特徴とする図面画像のキャリブレーション方法。

【請求項2】 前記対応点から求めた3次元空間中の座標値の同値性、及び対応点間の距離を拘束条件にした評価関数を定義し、この評価関数に対して前記拘束条件を満たしかつ関数値を最小化する前記変換係数を最適化手法により求めることを特徴とする請求項1に記載の図面画像のキャリブレーション方法。

【請求項3】 前記最適化手法は、三面図の各図面に設定された前記対応点の同値性に対する評価関数から、2階微分値勾配法により各図面画像の前記変換係数を求めることを特徴とする請求項2に記載の図面画像のキャリブレーション方法。

【請求項4】 前記最適化手法は、二図面に設定された前記対応点と二図面の等倍投影条件と等角回転条件を設定し求めた同値性に対する評価関数から、2階微分値勾配法により各図面画像の前記変換係数を求めることを特徴とする請求項2に記載の図面画像のキャリブレーション方法。

【請求項5】 前記2階微分値勾配法におけるパラメータは、対応点間の実距離に基づきローカルミニマムへの収束及びそれによるパラメータ推定誤りを防止する初期値に設定することを特徴とする請求項3又は4に記載の図面画像のキャリブレーション方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】 発明の属する技術分野 本発明は、コンピュータ・グラフィックスを用いた3次元シミュレーションシステムに係り、特に機器の設計図面を利用した3次元モデル化における図面画像のキャリブレーション方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 コンピュータのグラフィックス処理性能の向上とともに、3次元コンピュータグラフィックス (3DCG) を用いた各種3次元シミュレーションシステムが産業界に応用されはじめている。特に、産業用で対象となるのは、現実の機器をモデル化した (3次元モデルを作成し)、各種シミュレーション機能や状態表示機能等を3次元アプリケーションとして実現するシステムである。

【0003】 このような3次元システムでは、3次元モデルが必要不可欠であるため、その3次元モデルを作成

しなければならぬ。3次元モデルを作成する場合、問題となるのは、作成工数の多さである。

【0004】 例えば、機器モデルを作成する場合、モデル化の対象となる機器を直方体・円柱等のプリミティブ形状に分割することにより、自由曲面等でモデル化するよりも簡単にモデル化が可能ではあるが、それらプリミティブの空間情報 (頂点座標) の取得には手間がかかる。

【0005】 このような、プリミティブの空間情報を簡単に抽出する方式として、機器の設計図面や設備図面 (機器外形図・三面図) を利用したモデル作成手法が提案されている。最近、図面のCAD化が進んでいるが、依然として紙の状態で保管されている。このような紙の図面をデジタル化 (ラスター画像化) し、図面画像としてコンピュータに取り込み、この図面画像を数値として3次元モデルを作成する (図3参照)。この手法では、図面を下敷きにプリミティブをあてはめるのでモデルに関する数値入力が必要になり、モデル作成が簡便化される。

【0006】 図面画像からプリミティブの空間情報を抽出するには、画像上の点 (u, v) からその点に対応した3次元空間中の点の座標 (X, Y, Z) を求めなければならぬ。つまり、画像上の点 (u, v) を3次元空間中の点の座標 (X, Y, Z) に対応づける変換関数 (X, Y, Z) = f (u, v) を求める必要がある。画像上の点の情報からこの変換関数を求める処理をキャリブレーションと呼ぶ。

【0007】 実際には一枚の図面画像上の点 (u, v) からこれに対応した3次元空間中の点 (X, Y, Z) の三つの座標値を求める事はできず、例えば正面図からは (X, Y) が、側面図からは (Y, Z) が、上面図からは (Z, X) という具合に2つの座標値しか求められない。

【0008】 従って、図面画像のキャリブレーションは図面画像上の点 (u, v) を3次元空間中の点 (X, Y, Z) の二つの部分座標値 (X, Y) に対応づける変換関数 (X, Y) = f (u, v) を同定することと定義できる。複数の図面画像を組み合わせた事により (X, Y, Z) の三つの座標値を算出する事になる (図4参照)。

【0009】 以下、特に断りがなければ、図面画像は、機器の三面図を、(X, Y, Z) は3次元空間中の点の座標を、(X, Y) 等はその点の2つの座標値を、(u, v) は3次元空間中の点を三面図上に投影した点の図面上でのピクセル座標値を表すとする。

【0010】 通常、上記の変換関数は以下のような一次結合式 (アフィン変換) で表すことができる。

【0011】  
【数1】

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{00}u + m_{01}v + m_{02} \\ m_{10}u + m_{11}v + m_{12} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{00} & m_{01} & m_{02} \\ m_{10} & m_{11} & m_{12} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

【数2】

【0012】 図面画像のキャリブレーションは (1) 式の変換係数 (m<sub>00</sub>, m<sub>01</sub>, m<sub>02</sub>, m<sub>10</sub>, m<sub>11</sub>, m<sub>12</sub>) を求める事として定式化できる。なお、理想的な図面では、式 (1) 中の m<sub>02</sub> と m<sub>12</sub> とはともに0となるが (m<sub>02</sub> と m<sub>12</sub> は回転変換要素である)、画像をデジタル化する過程において回転変換が含まれる可能性があるため、これらを0として扱わない事にする。

【0013】 一般的なキャリブレーション手法は、3次元座標値を用いて以下のようにこの結合係数を算出する。

【0014】 (1) 図面画像上の点 (u<sub>i</sub>, v<sub>i</sub>) とそれに対応した3次元空間中の点 (X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>, Z<sub>i</sub>) とを求め (i = 1 ~ n : n 個の点を求める)。(X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>, Z<sub>i</sub>) は図面上に記されている機器の寸法情報をもとに設定する。

【0015】 (2) (u<sub>i</sub>, v<sub>i</sub>) の式 (1) による変換座標の推定値を (X<sub>est</sub>, Y<sub>est</sub>) とすると次式が成り立つ。

【数3】

【0016】

$$\partial E_x / \partial m_{00} = \partial E_y / \partial m_{00} = 0 \quad (i=0,1,2)$$

$$\begin{aligned} \therefore \begin{pmatrix} m_{00} \\ m_{01} \\ m_{02} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n u_i^2 & \sum_{i=1}^n u_i v_i & \sum_{i=1}^n v_i^2 \\ \sum_{i=1}^n u_i v_i & \sum_{i=1}^n v_i^2 & \sum_{i=1}^n v_i \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n u_i X_i \\ \sum_{i=1}^n v_i X_i \\ \sum_{i=1}^n X_i \end{pmatrix} \\ \therefore \begin{pmatrix} m_{10} \\ m_{11} \\ m_{12} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n u_i^2 & \sum_{i=1}^n u_i v_i & \sum_{i=1}^n v_i^2 \\ \sum_{i=1}^n u_i v_i & \sum_{i=1}^n v_i^2 & \sum_{i=1}^n v_i \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n u_i Y_i \\ \sum_{i=1}^n v_i Y_i \\ \sum_{i=1}^n Y_i \end{pmatrix} \end{aligned}$$

【0021】

【発明が解決しようとする課題】 従来の図面のキャリブレーション方法は、図面上の点と3次元空間中の点の座標を用いるため、得られる変換係数の精度は比較的高く、また、線形方程式の解として定式化しているため、定期的に求める事ができるという特徴がある。しかしながら、以下のような問題点がある。

【0022】 図面上に記されている寸法情報から手作業で3次元座標値を求めなければならないため作業工数が多い。

【0023】 設備図面の場合、寸法情報が部分的にしか記入されていない場合、キャリブレーションに必要な3次元座標値が求まらない場合がある。

【0024】 本発明の目的は、図面から全ての対応点に対する3次元座標値を求める作業を不要にし、しかも寸法が記入されていない図面に対してもキャリブレーションができるキャリブレーション方法を提供することにある。

$$\begin{pmatrix} X_{est} \\ Y_{est} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{00}u_i + m_{01}v_i + m_{02} \\ m_{10}u_i + m_{11}v_i + m_{12} \end{pmatrix}$$

【0017】 (3) 各推定座標値と実際の座標値との平均二乗誤差 E<sub>x</sub>, E<sub>y</sub> を以下のように定義する。

【0018】

【数3】

$$E_x = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (X_{est} - X_i)^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (m_{00}u_i + m_{01}v_i + m_{02} - X_i)^2$$

$$E_y = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (Y_{est} - Y_i)^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (m_{10}u_i + m_{11}v_i + m_{12} - Y_i)^2$$

【0019】 (4) E<sub>x</sub>, E<sub>y</sub> を最小とする変換係数 m<sub>00</sub>, m<sub>01</sub>, m<sub>02</sub>, m<sub>10</sub>, m<sub>11</sub>, m<sub>12</sub> を次式により求める。

【0020】

【数4】

【0025】

【課題を解決するための手段】 本発明は、三面図画像に対し複数の対応点を設定し、その3次元座標値ではなく対応点間の距離情報に基づき変換係数を求めることにより、二点間の距離という図面から得やすい情報を利用してキャリブレーションにおける3次元座標値を求める作業量を削減したものであり、以下の方法を特徴とする。

【0026】 機器の図面画像上の点を3次元空間中の点の座標に対応付ける変換関数の変換係数を求めるキャリブレーションを行い、図面画像から変換関数を使って機器の3次元モデルを作成するにおいて、前記キャリブレーションは、機器の3次元空間中の点が機器の三面図上に投影された投影点を互いの対応点とし、この対応点と対応点間の距離情報に基づき、画像上の点を3次元空間中の点の座標に対応付けることを特徴とする。

【0027】 また、前記対応点から求めた3次元空間中の座標値の同値性、及び対応点間の距離を拘束条件にした評価関数を定義し、この評価関数に対して前記拘束条

件を満たしかつ関数値を最小化する前記変換係数を最適化手法により求めることを特徴とする。

【0028】また、前記最適化手法は、三面図の各図面に設定された前記対応点の同値性に対する評価関数から、2階微分値勾配法により各図面画像の前記変換係数を求めることを特徴とする。

【0029】また、前記最適化手法は、二面図に設定された前記対応点に二面図の等価投影条件と等価回転条件を設定して求めた同値性に対する評価関数から、2階微分値勾配法により各図面画像の前記変換係数を求めることを特徴とする。

【0030】また、前記2階微分値勾配法におけるパラメータは、対応点間の実距離を基にローカルミニマムへの収束及びそれによるパラメータ推定誤りを防止する初期値に設定することを特徴とする。

【0031】  
【発明の実施の形態】本実施形態の説明は、まず始めに、キャリブレーションにおいて基本的な作業となる対応点の設定、及びキャリブレーション手法の基本アルゴリズムを説明する。その後、三面図、及び二面図に対し基本アルゴリズムを適用した変換形態を説明する。

【0032】(1) 対応点の設定

ここで言う対応点とは、3次元空間中の点が三面図上に投影された投影点の事である。対応点は各画像上でのピクセル座標値は異なるが、投影元の3次元座標値は同じである(図4参照)。

【0033】例えば、正面図上の点 $P_1(u_1, v_1)$ と側面図上の点 $P_2(u_2, v_2)$ と上面図上の点 $P_3(u_3, v_3)$ とが同一の3次元空間中の点 $(X, Y, Z)$ の、それぞれ図面への投影点である場合、 $P_1, P_2, P_3$ は互いに対応点となる。

【0034】キャリブレーションを実行する際に、各図面画像上でこのような対応点を複数設定する。

【0035】(2) キャリブレーションの基本アルゴリズム

・正面図

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{00}u_0 + m_{01}v_0 + m_{02} \\ m_{10}u_0 + m_{11}v_0 + m_{12} \end{pmatrix} \quad (5)$$

・側面図

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{20}u_0 + m_{21}v_0 + m_{22} \\ m_{30}u_0 + m_{31}v_0 + m_{32} \end{pmatrix} \quad (6)$$

・上面図

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{40}u_0 + m_{41}v_0 + m_{42} \\ m_{50}u_0 + m_{51}v_0 + m_{52} \end{pmatrix} \quad (7)$$

ここでは、便宜的に正面図はモデル対象物をXY面に平行な平面に投影した図、側面図をYZ面に平行な平面に投影した図、上面図をZX面に平行な平面に投影した図と定義する(図4では正面図と側面図のみを示す)。

【0036】この場合、正面図上の点 $(u_1^1, v_1^1)$ からは投影元の3次元座標 $(X_1, Y_1, Z_1)$ の内 $(X_1, Y_1)$ を、側面図及び上面図上の点 $(u_{12}, v_{12})$ 、 $(u_{13}, v_{13})$ からは $(Y_1, Z_1)$ 、 $(Z_1, X_1)$ をそれぞれ以下のように変換式により求めることができる。

【0037】

【数5】

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{00}u_1 + m_{01}v_1 + m_{02} \\ m_{10}u_1 + m_{11}v_1 + m_{12} \end{pmatrix} \quad (8)$$

・側面図

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{20}u_2 + m_{21}v_2 + m_{22} \\ m_{30}u_2 + m_{31}v_2 + m_{32} \end{pmatrix} \quad (9)$$

・上面図

$$\begin{pmatrix} Z_1 \\ X_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{40}u_3 + m_{41}v_3 + m_{42} \\ m_{50}u_3 + m_{51}v_3 + m_{52} \end{pmatrix} \quad (10)$$

【0038】上記の式(2)～(4)において、変換係数 $(m_{00}, \dots, m_{52})$ など及び画像上の点 $(u_i^1, v_i^1)$ の周りにつけている数字は、各図面の種類を表し、正面図は1、側面図は2、上面図は3とする。また、 $i$ は対応点の番号を示す

ここで、各図面の0番目の対応点 $(u_0^1, v_0^1)$ 、 $(u_0^2, v_0^2)$ 、 $(u_0^3, v_0^3)$ に対する3次元座標を原点座標 $(0, 0, 0)$ に設定すると式(2)～(4)より以下の式が求まる。

【0039】

【数6】

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{00}u_0 + m_{01}v_0 + m_{02} \\ m_{10}u_0 + m_{11}v_0 + m_{12} \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{20}u_0 + m_{21}v_0 + m_{22} \\ m_{30}u_0 + m_{31}v_0 + m_{32} \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{40}u_0 + m_{41}v_0 + m_{42} \\ m_{50}u_0 + m_{51}v_0 + m_{52} \end{pmatrix} \quad (13)$$

【0040】上記の式(5)～(7)を式(2)～

(4)に代入することで、以下の(8)～(10)式が得られる。

・正面図

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{00}u_1 + m_{01}v_1 + m_{02} \\ m_{10}u_1 + m_{11}v_1 + m_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{00}u_1 + m_{01}v_1 - m_{00}u_0 - m_{01}v_0 \\ m_{10}u_1 + m_{11}v_1 - m_{10}u_0 - m_{11}v_0 \end{pmatrix} \quad (14)$$

・側面図

$$\begin{pmatrix} Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{20}u_2 + m_{21}v_2 + m_{22} \\ m_{30}u_2 + m_{31}v_2 + m_{32} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{20}u_2 + m_{21}v_2 - m_{20}u_0 - m_{21}v_0 \\ m_{30}u_2 + m_{31}v_2 - m_{30}u_0 - m_{31}v_0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

・上面図

$$\begin{pmatrix} Z_1 \\ X_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{40}u_3 + m_{41}v_3 + m_{42} \\ m_{50}u_3 + m_{51}v_3 + m_{52} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{40}u_3 + m_{41}v_3 - m_{40}u_0 - m_{41}v_0 \\ m_{50}u_3 + m_{51}v_3 - m_{50}u_0 - m_{51}v_0 \end{pmatrix} \quad (16)$$

【0042】以降、 $u_i^1 - u_0^1, v_i^1 - v_0^1, u_i^2 - u_0^2, v_i^2 - v_0^2, u_i^3 - u_0^3, v_i^3 - v_0^3$ をそれぞれ $u_i^1, v_i^1, u_i^2, v_i^2, u_i^3, v_i^3$ で表すことにより、式(8)～(10)から変換係数を削減した次の式(1)～(13)を対象とする。

【0043】

【数8】

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{00}u_i^1 + m_{01}v_i^1 \\ m_{10}u_i^1 + m_{11}v_i^1 \end{pmatrix} \quad (17)$$

・側面図

$$\begin{pmatrix} Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{20}u_i^2 + m_{21}v_i^2 \\ m_{30}u_i^2 + m_{31}v_i^2 \end{pmatrix} \quad (18)$$

・上面図

$$\begin{pmatrix} Z_i \\ X_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{40}u_i^3 + m_{41}v_i^3 \\ m_{50}u_i^3 + m_{51}v_i^3 \end{pmatrix} \quad (19)$$

【0044】変換係数が正しく設定されれば、式(11)で求められる $X_i$ と式(13)で求められる $X_i$ が等しくなり、同様に式(12)と(11)から求められる $Y_i$ 、式(13)と(12)から求められる $Z_i$ はそれぞれ等しくなる。

【0045】逆に、各3次元座標値が等しくなるような変換係数を推定する事が、本発明のキャリブレーション手法の基本となる。

※

$$f = \sum_i \left[ \left( m_{00}(u_i^1 - u_0^1) + m_{01}(v_i^1 - v_0^1) \right)^2 + \left( m_{10}(u_i^1 - u_0^1) + m_{11}(v_i^1 - v_0^1) \right)^2 \right] \rightarrow 0 \quad (20)$$

【0052】この式(14)より、拘束条件「は変換係数の関数となるので $f(m)$ と表す事ができる。

【0053】変換係数が絶対的な大きさを加味した形で

推定されるためには、各図面から最低1個ずつ式(14)で表される拘束条件を設定する必要がある。これら

拘束条件の集合(条件数を $K$ とする)を改めて $F(=$

但し、 $T$ は転置を表す

30 係数は求めない。

【0049】そこで、各図面に設定した対応点に対し、その二点間の実距離(画像上のピクセル距離ではなく実際の寸法距離)を複数指定し、それを拘束条件として評価関数に追加する。

【0050】図面 $i$ ( $i=1$ :正面図、 $2$ :側面図、 $3$ :上面図)上の二対応点 $(u_p^i, v_p^i)$ と $(u_q^i, v_q^i)$ との実距離を $L$ とすると、変換係数が満たすべき拘束条件 $f$ は式(14)で定義される。

【0051】

【数9】

( $f_1, f_2, \dots, f_m$ ) と定義すると、F もまた m の関数となるので F (m) と示すことができる。

【0054】なお、全ての対応点間の距離を決定するわけではなく 1 個以上であれば任意の数の距離を設定すればよい。また、設定された距離情報の数が多いほど変換係数の推定精度が良くなる。

【0055】以上、図面のキャリブレーション手法の基本アルゴリズムをまとめると、以下のようになる。

【0056】(1) 変換係数と図面上の対応点座標より得られる 3 次元座標値の同値性を評価関数 (下に凸となる 2 次式) を定義する。

【0057】(2) 図面上に設定した対応点に対する距離情報を拘束条件とする。

【0058】(3) 上記の (1) と (2) を合わせた関数を全体の評価関数 H として定義する。

【0059】(4) 上記の (3) で定義した評価関数に対し、(1) の評価関数を極小化し、(2) の拘束条件を満たす変換係数を最適化手法により求める。

【0060】上記 (1) ~ (4) を数学的に表すと以下 \*

$$H_m = \left( \frac{\partial H}{\partial m_0}, \frac{\partial H}{\partial m_1}, \dots, \frac{\partial H}{\partial m_{n-1}} \right)^T \quad (5)$$

$$F_m = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial m_0} & \frac{\partial f_1}{\partial m_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial m_{n-1}} \\ \frac{\partial f_2}{\partial m_0} & \frac{\partial f_2}{\partial m_1} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial m_{n-1}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_K}{\partial m_0} & \frac{\partial f_K}{\partial m_1} & \dots & \frac{\partial f_K}{\partial m_{n-1}} \end{pmatrix} \quad (6)$$

【0066】・評価関数 H に対するこの 2 階微分を以下のように H<sub>mm</sub> とする。

【0067】

【数 11】

$$H_{mm} = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 H}{\partial m_0^2} & \frac{\partial^2 H}{\partial m_0 \partial m_1} & \dots & \frac{\partial^2 H}{\partial m_0 \partial m_{n-1}} \\ \frac{\partial^2 H}{\partial m_1 \partial m_0} & \frac{\partial^2 H}{\partial m_1^2} & \dots & \frac{\partial^2 H}{\partial m_1 \partial m_{n-1}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 H}{\partial m_{n-1} \partial m_0} & \frac{\partial^2 H}{\partial m_{n-1} \partial m_1} & \dots & \frac{\partial^2 H}{\partial m_{n-1}^2} \end{pmatrix} \quad (7)$$

【0068】(3) 第 1 の実施形態

本実施形態は、三面図を利用したキャリブレーション手法を説明する。まず、評価関数 E (m) を式 (18) で定義する。

【0069】

【数 12】

$$E(m) = \sum_{i=0}^N \left\{ (x_i^2 - x_i^0)^2 + (y_i^2 - y_i^0)^2 + (z_i^2 - z_i^0)^2 \right\} \\ - \sum_{i=0}^N (m_0 y_i^1 + m_1 y_i^1 - m_0 y_i^0 - m_1 y_i^0)^2 \\ + \sum_{i=0}^N (m_0 y_i^2 + m_1 y_i^2 - m_0 y_i^0 - m_1 y_i^0)^2 \\ + \sum_{i=0}^N (m_0 y_i^3 + m_1 y_i^3 - m_0 y_i^0 - m_1 y_i^0)^2 \quad (8)$$

\* のようになる。

【0061】(A) 3 次元座標値の同値性の評価関数 = E (m)

(B) 距離情報に対する拘束条件 = F (m)

(C) 全体の評価関数 H (m, λ) = E (m) + λ<sup>T</sup> F (m)

ここで、λ = (λ<sub>1</sub>, ..., λ<sub>K</sub>) は拘束条件に対するラグランジュ乗数を示す。

【0062】(D) H = 0 となる m と λ を最適化手法で求める。

【0063】上記の基本アルゴリズムを実現する実施形態では、便宜上、対応点などを以下のように定義する。

【0064】・対応点は N 点設定する

・拘束条件は K 個設定する

・評価関数 H 及び拘束条件 F に対する m の偏微分を以下のように H<sub>m</sub>, F<sub>m</sub> とする。

【0065】

【数 10】

( $f_1, f_2, \dots, f_m$ ) と定義すると、F もまた m の関数となるので F (m) と示すことができる。

【0054】なお、全ての対応点間の距離を決定するわけではなく 1 個以上であれば任意の数の距離を設定すればよい。また、設定された距離情報の数が多いほど変換係数の推定精度が良くなる。

【0055】以上、図面のキャリブレーション手法の基本アルゴリズムをまとめると、以下のようになる。

【0056】(1) 変換係数と図面上の対応点座標より得られる 3 次元座標値の同値性を評価関数 (下に凸となる 2 次式) を定義する。

【0057】(2) 図面上に設定した対応点に対する距離情報を拘束条件とする。

【0058】(3) 上記の (1) と (2) を合わせた関数を全体の評価関数 H として定義する。

【0059】(4) 上記の (3) で定義した評価関数に対し、(1) の評価関数を極小化し、(2) の拘束条件を満たす変換係数を最適化手法により求める。

【0060】上記 (1) ~ (4) を数学的に表すと以下 \*

$$H_m = \left( \frac{\partial H}{\partial m_0}, \frac{\partial H}{\partial m_1}, \dots, \frac{\partial H}{\partial m_{n-1}} \right)^T \quad (5)$$

$$F_m = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial m_0} & \frac{\partial f_1}{\partial m_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial m_{n-1}} \\ \frac{\partial f_2}{\partial m_0} & \frac{\partial f_2}{\partial m_1} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial m_{n-1}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_K}{\partial m_0} & \frac{\partial f_K}{\partial m_1} & \dots & \frac{\partial f_K}{\partial m_{n-1}} \end{pmatrix} \quad (6)$$

【0070】これは、三面図の各図面に設定された対応点の同値性に対する評価関数であり、前記の式 (11) と (13) から得られる X 座標値が等しく、かつ式 (12) と (11) から得られる Y 座標値が等しく、かつ式 (13) と (12) と (11) から得られる Z 座標値が等しくなるための条件式である。

【0071】また、最適化手法には、繰り返し勾配法、特に収束のよい 2 階微分値を利用した勾配法を利用する。この場合、繰り返し終了条件 (収束条件) は推定対象変数 m に対し  $H_m \approx 0$  かつ  $F \approx 0$  である。

【0072】以上、評価関数 E (m) を式 (18) で定義する。図 1 のフローチャートを参照して以下に説明する。なお、以降では求めるべき図面画像の変換係数をパラメータ変数または単にパラメータと記す。

【0073】(ステップ S1) 初期化

通常、勾配法による最適化手法ではパラメータの初期値を乱数等の任意の値に設定する。本実施形態では勾配法がローカルミニマムへの収束及びそれによる推定誤りという欠点があることを考え、パラメータが正しく推定できるように以下のように初期値を設定する。

【0074】・図面に対し回転歪みやスケール歪みがない (ラスタ画像では有るが CAD 図のように各軸の直交性・非回転性や等倍性が保存されている) と仮定し以下の関係式を設定する。

50

\* の値を設定する。

【0075】 $m_{10}^1 = m_{11}^1$  (等倍条件)

$m_{10}^1 = m_{10}^1 = 0$  (非回転・直交条件)

・図面に対して最低 1 個設定されている対応点間の実距離

・情報量に基づいて式 (14) を参照して、次式により  $m_{00}^*$

$$d^2 = \left[ m_{00}^* (x_j - x_i)^2 + m_{00}^* (y_j - y_i)^2 + m_{00}^* (z_j - z_i)^2 \right] = 0$$

$$m_{00}^* = m_{00}^* \quad m_{00}^* = m_{00}^* = 0 \quad \text{より}$$

$$m_{00}^* = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2}$$

$$m_{00}^* = m_{00}^* = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2}$$

$$m_{00}^* = m_{00}^* = 0 \quad (9)$$

$$m_{00}^* = m_{00}^* = 0 \quad (10)$$

【0077】なお、λ の初期値は収束性にほぼ影響を与えないので乱数で設定する。

【0078】(ステップ S2) 値計算

次式により、H<sub>m</sub> 及び F<sub>m</sub> の値を数値計算する。

【0079】

【数 14】

$$H_m = \left( \frac{\partial H}{\partial m_0}, \frac{\partial H}{\partial m_1}, \dots, \frac{\partial H}{\partial m_{n-1}} \right)^T$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (11)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (12)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (13)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (14)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (15)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (16)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (17)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (18)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (19)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (20)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (21)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (22)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (23)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (24)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (25)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (26)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (27)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (28)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (29)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (30)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (31)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (32)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (33)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (34)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (35)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (36)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (37)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (38)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (39)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (40)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (41)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (42)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (43)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (44)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (45)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (46)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (47)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (48)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (49)$$

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_K) \quad (50)$$

より定義される。

【0090】 式(20)において式(21)、

【0091】 また、式(14)において式(20)、

【0092】 (21)を考慮し、拘束条件fを次式により定義する。

【0093】

【数18】

【0094】

【0095】

【0096】

【0097】

【0098】

【0099】

【0100】

【0101】

【0102】

【0103】

【0104】

【0105】

【0106】

【0107】

【0108】

【0109】

【0110】

【0111】

【0112】

【0113】

【0114】

【0115】

【0116】

【0117】

【0118】

【0119】

【0120】

【0121】

【0122】

【0123】

【0124】

【0125】

【0126】

【0127】

【0128】

【0129】

【0130】

【0131】

【0132】

【0133】

【0134】

【0135】

【0136】

【0137】

【0138】

【0139】

【0140】

【0141】

【0142】

【0143】

【0144】

【0145】

【0146】

【0147】

より定義される。

【0090】 式(20)において式(21)、

【0091】 また、式(14)において式(20)、

【0092】 (21)を考慮し、拘束条件fを次式により定義する。

【0093】

【0094】

【0095】

【0096】

【0097】

【0098】

【0099】

【0100】

【0101】

【0102】

【0103】

【0104】

【0105】

【0106】

【0107】

【0108】

【0109】

【0110】

【0111】

【0112】

【0113】

【0114】

【0115】

【0116】

【0117】

【0118】

【0119】

【0120】

【0121】

【0122】

【0123】

【0124】

【0125】

【0126】

【0127】

【0128】

【0129】

【0130】

【0131】

【0132】

【0133】

【0134】

【0135】

【0136】

【0137】

【0138】

【0139】

【0140】

【0141】

【0142】

【0143】

【0144】

【0145】

【0146】

【0147】

より定義される。

【0090】 式(20)において式(21)、

【0091】 また、式(14)において式(20)、

【0092】 (21)を考慮し、拘束条件fを次式により定義する。

【0093】

【0094】

【0095】

【0096】

【0097】

【0098】

【0099】

【0100】

【0101】

【0102】

【0103】

【0104】

【0105】

【0106】

【0107】

【0108】

【0109】

【0110】

【0111】

【0112】

【0113】

【0114】

【0115】

【0116】

【0117】

【0118】

【0119】

【0120】

【0121】

【0122】

【0123】

【0124】

【0125】

【0126】

【0127】

【0128】

【0129】

【0130】

【0131】

【0132】

【0133】

【0134】

【0135】

【0136】

【0137】

【0138】

【0139】

【0140】

【0141】

【0142】

【0143】

【0144】

【0145】

【0146】

【0147】

より定義される。

【0090】 式(20)において式(21)、

【0091】 また、式(14)において式(20)、

【0092】 (21)を考慮し、拘束条件fを次式により定義する。

【0093】

【0094】

【0095】

【0096】

【0097】

【0098】

【0099】

【0100】

【0101】

【0102】

【0103】

【0104】

【0105】

【0106】

【0107】

【0108】

【0109】

【0110】

【0111】

【0112】

【0113】

【0114】

【0115】

【0116】

【0117】

【0118】

【0119】

【0120】

【0121】

【0122】

【0123】

【0124】

【0125】

【0126】

【0127】

【0128】

【0129】

【0130】

【0131】

【0132】

【0133】

【0134】

【0135】

【0136】

【0137】

【0138】

【0139】

【0140】

【0141】

【0142】

【0143】

【0144】

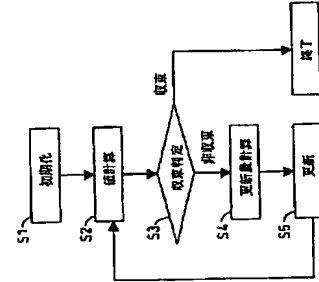
【0145】

【0146】

【0147】

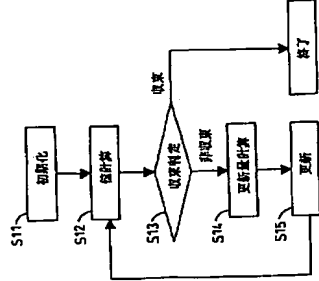
【図1】

実施形態のアルゴリズムフローチャート(その1)



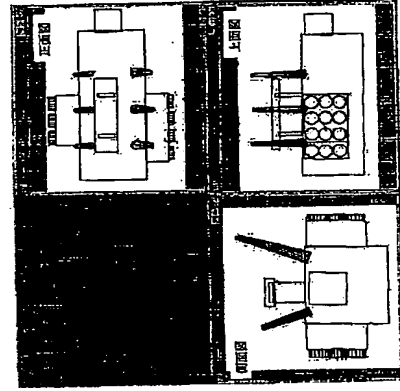
【図2】

実施形態のアルゴリズムフローチャート(その2)



【図3】

図面説明



【0103】

【発明の効果】 以上のとおり、本発明によれば、図面画面上の対応点と対応点間の距離情報に基づいてキャリブレーションを行うため、以下の効果がある。

【図 4】

三次元空間中の点とそれを画面上に投影した点との関係図

